

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПУТЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.И. Мандзюк

Научный руководитель - старший преподаватель Е.Ю. Валитова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

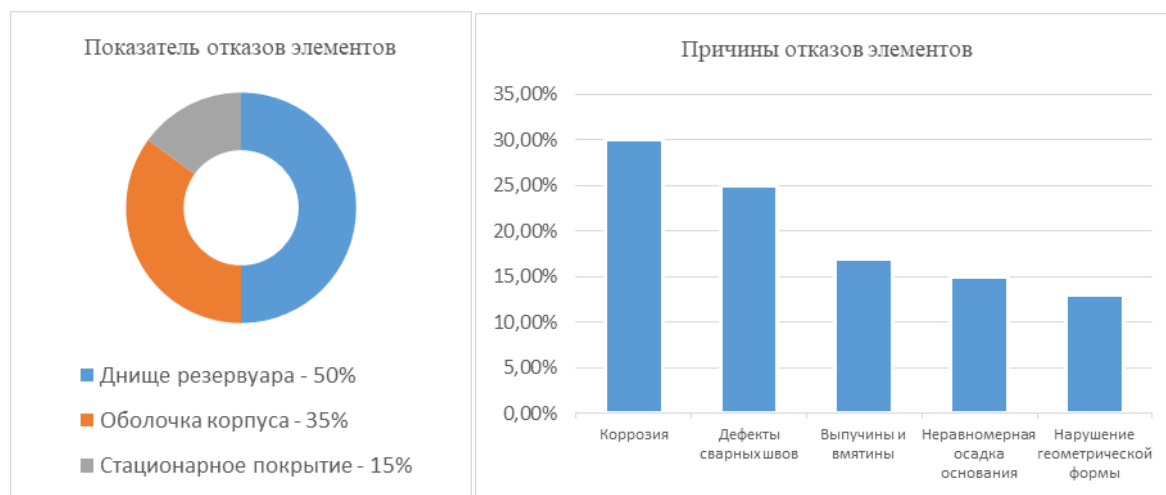
В статье представлен проект вертикального стального резервуара со стенкой каннелюрного типа, который приведет к изменению схемы взаимодействия основных конструктивных элементов и, соответственно, к повышению прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности стального резервуара.

**Ключевые слова:** резервуар, прочность, надежность, стальные конструкции.

В процессе эксплуатации резервуаров вертикальных стальных из стали марки 092ГС часто выявляют дефекты в ходе диагностирования и проведения контроля практически любого резервуара. Это вызвано внешними и внутренними нагрузками на стенки (и не только) резервуаров, в связи с чем происходит сокращение срока и службы резервуаров или их разрушение.

Различают проектную (теоретическую) надежность и эксплуатационную надежность [1]. Особое влияние на эксплуатационную надежность оказывают дефекты, возникающие на этапах изготовления, монтажа, эксплуатации конструкции, а также вследствие коррозии, осадки оснований, вибрации, температурных воздействий. Нарушая проектное состояние резервуара, данные факторы сокращают срок службы конструкции.

На рис. 1 представлена статистика, которая показывает, что днища резервуара наиболее часто подвержены дефекту и, вследствие чего, отказу, а причиной чаще всего является коррозионный износ.



*Рис.1 Статистика отказов стальных резервуаров*

Защиту резервуаров от коррозии также осуществляют пассивными и активными методами. К пассивным относится применение всех видов защитных покрытий, которые изолируют агрессивную среду от поверхности резервуара. Но это лишь частично повышает прочность конструкции, что приводит к надежной эксплуатации стальных резервуаров. Имеющийся опыт эксплуатации крупногабаритных вертикальных стальных цилиндрических резервуаров (РВС) показывает, что устранить имеющиеся недостатки и повысить эксплуатационную надежность РВС возможно, когда будут разработаны новые решения, меняющие схему взаимодействия основных конструктивных элементов резервуара.

Одним из решений повышения надежности резервуара проект резервуара со стенкой каннелюрного типа РВС-К [2]. Каннелюрная панель представляет собой вертикальный участок стенки, состоящий из стальных листов, обращенных выпуклостью внутрь резервуара. Места стыка панелей называются ребрами стенки РВС-К. С внутренней стороны стыка каннелюрных панелей по всей высоте стенки приварена накладка, ширина которой составляет 0,1 длины листа стенки, образующая с ребром стенки трехгранную балку, увеличивающую жесткость всей конструкции (Рис.2).

По всему нижнему контуру стенка соединена с плоским днищем сплошным сварным швом (уторный узел), а в местах стыка панелей по верхнему контуру стенки прикреплено висячее вантовое покрытие комбинированного типа с внутренним опорным барабаном. При заполнении резервуара продуктом стеновые панели сжимаются от воздействия гидростатического давления, а в ребрах стенки возникают опрокидывающие усилия, которые снижаются за счет натяжения вантового покрытия.

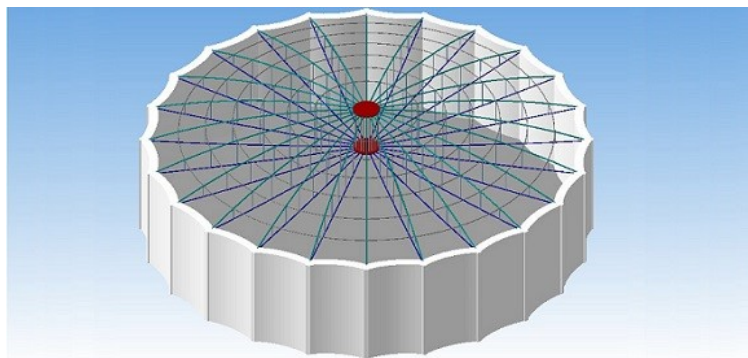


Рис.2 Трехмерная модель РВС-К объемом 10000 м³

Для оптимизации геометрии конструкции был проведен проверочный расчет РВС-К с номинальным объемом 10000 м³, изготовленной из марки стали 09Г2С на прочность и устойчивость с учетом его заполнения нефтью [3].

Таблица 1

Методология проведения расчетов

Расчет на прочность:	Расчет на устойчивость:
$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \leq R$ – проверочный расчет на прочность, где: $\sigma_1 = \frac{1,05G_M + 1,05\psi_1 G_0}{2\pi r t_{ir}} + \frac{1,4 \cdot c_e \cdot p_s + 1,2\psi_3 p_v}{t_{ir}} \cdot \frac{r}{2}$ – меридиональное напряжение каждого пояса, МПа $\sigma_2 = [0,001 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - X_L) + 1,2 \cdot p] \cdot \frac{r}{t_{ir}}$ – кольцевое напряжение, МПа	$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1$ – неравенство устойчивости стенки – неравенство устойчивости стенки $\sigma_1$ – меридиональное напряжение каждого пояса, МПа; $\sigma_2 = (1,2 \cdot \psi_{t3} \cdot p_v + 0,5 \cdot \psi_{t2} \cdot p_w) \cdot \delta$ – кольцевое, МПа; $\sigma_{cr1} = \frac{C_0}{E\delta}$ – критич. Меридиональное, МПа; $\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot \frac{r}{H_r} \cdot \frac{E}{\sqrt{\delta^3}}$ – критическое кольцевое, МПа.

Результаты расчетов подтвердили выводы, полученные при исследовании, что при такой схеме взаимодействия конструктивных элементов вертикальный стальной резервуар выдерживает внешние и внутренние нагрузки, что соответствует надежной эксплуатации. Кроме того, расчет напряженно-деформированного состояния заполненного резервуара показал то, что при такой схеме взаимодействия конструктивных элементов максимальные напряжения в стенке перемещаются из зоны уторного узла на середину высоты стеновых панелей, причем сами стеновые панели работают на сжатие, а кольцо жесткости, установленное на середине высоты панелей, работает на растяжение.

В соответствии с расчётами выбрано вантовое покрытие комбинированного типа с вертикальными жесткими распорками, зигзагообразной канатной решеткой и внутренним опорным барабаном. В качестве распорок применены стальные стержни. Они предназначены для передачи нагрузок между верхним и нижним поясом вант и не испытывают больших напряжений, поэтому стержни могут быть полыми, что значительно уменьшает вес покрытия. По вантам монтируется стальная обрешетка с настилом из металлочерепицы.

Для снижения потерь продукта от испарения предлагается использовать понтон, состоящий из отдельных секций – герметичных коробов из листового алюминия, заполненных алюминиевыми сотами, собираемых между собой на болтах.

#### Заключение.

В результате, техническим результатом разработки является:

- гарантированное увеличение прочности и устойчивости резервуара;
- возможность эксплуатации в сейсмоопасных районах;
- снижение металлоемкости резервуара;
- увеличение эксплуатационной надежности резервуара, увеличенная продолжительность срока службы

#### Литература

1. СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии;
2. Землеруб Л.А., Егоров А.Ю., Ягавкин В.В. Резервуар повышенной надёжности с динамическим взаимодействием конструктивных элементов;
3. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.